





Tomodensitométrie

Manuel utilisateur

Copyright

Le logiciel est disponible seul sous la dénomination Tomodensitométrie Pro (554 820) ou associé au module de tomodensitométrie (554 821) de la société LD DIDACTIC GmbH. Il est conçu pour la formation dans les établissements scolaires et les universités.

Le logiciel est concédé sous licence fournie sous la forme d'un code d'activation (554 820) ou conjointement à l'achat du module de tomodensitométrie (554 821). La transmission du code d'activation à des collègues travaillant dans d'autres établissements est illicite.

La reconstruction ou la représentation de jeux de données enregistrés sont par contre aussi autorisés sans le code d'activation et sans le module de tomodensitométrie, auquel cas le logiciel peut alors être installé sur un nombre quelconque d'ordinateurs et transmis sous une forme inchangée.

Il est interdit d'utiliser le logiciel pour la reconstruction ou la représentation de jeux de données ayant une autre origine ou de décompiler ou désassembler le logiciel totalement ou en partie.

La société LD DIDACTIC GmbH n'offre aucune garantie et rejette toute responsabilité quant au fonctionnement correct du logiciel. Tout particulièrement les valeurs déterminées et représentations correspondantes n'ont aucune validité médicale.

Auteur du manuel utilisateur

Dr. Michael Hund

En date du

10/06/2013



Table des matières



Préface

Ce manuel utilisateur doit donner un aperçu des possibilités offertes par le logiciel Tomodensitométrie. Le texte est le même que celui des aides accessibles à tout moment dans le programme par simple clic avec la souris.

Remarques de sécurité

Le capteur pour radiographie, le module de tomodensitométrie et le logiciel sont conçus pour la formation dans les établissements scolaires et les universités. Les valeurs déterminées et représentations correspondantes n'ont aucune validité médicale.

L'appareil à rayons X doit seulement être utilisé conformément au mode d'emploi qui l'accompagne.

Installation

L'installation se fait en deux temps.

a) Installation du logiciel Tomodensitométrie

L'installation du logiciel a lieu soit

- automatiquement après l'insertion du CD-ROM, soit
- manuellement en lançant le fichier **setup.exe**

et en suivant les messages visualisés sur l'écran.

Si nécessaire, le Microsoft .NET Framework 3.5 et le pack de composants d'exécution DirectX seront installés lors de l'installation du logiciel.

b) Installation du pilote vidéo USB (nécessaire seulement avec le module de tomodensitométrie)

Un video grabber USB (module de capture de vidéos) est intégré dans le module de tomodensitométrie pour la conversion du signal vidéo analogique de la caméra. Le video grabber requiert l'installation d'un pilote disponible sur le CD dans le sous-répertoire Driver.

Suivant le video grabber intégré, il y a ici un programme d'installation démarrable (par ex. Driver\Setup.exe) ou le pilote vidéo proprement dit (par ex. Video.inf).

Dans le premier cas, le programme d'installation (par ex. Driver\Setup.exe) devra être exécuté *avant* de raccorder le module de tomodensitométrie au PC. Dans le deuxième cas, Windows se charge de chercher le pilote sur le CD *après* le raccordement et la mise en route du module de tomodensitométrie.

Si vous souhaitez utiliser un autre video grabber, celui-ci peut alors être branché à la sortie vidéo analogique du module de tomodensitométrie. De tels video grabbers requièrent eux aussi un pilote installé qui met à disposition un filtre DirectShow par le biais duquel le logiciel Tomodensitométrie accède aux données vidéo.

Important : même si le video grabber interne n'est pas utilisé, le module de tomodensitométrie doit tout de même être relié à l'ordinateur par un câble USB.



Capteur pour radiographie

Le capteur pour radiographie (554 828) constitué d'une tête de capteur et d'un module USB sert à la prise de radiographies dans la partie pour l'expérimentation d'un appareil à rayons X (par ex. 554 800). Pour ce faire, le rayonnement X sur une feuille de scintillateur est converti en lumière visible dans la tête de capteur. Entre cette feuille de scintillateur et le capteur d'images CMOS placé derrière, le rayonnement X restant est intercepté par un dispositif optique en fibre de verre afin de garantir une grande longévité du capteur. Le signal de sortie analogique de la tête de capteur est transféré par le câble DVI fourni au module USB situé en dehors de l'appareil à rayons X. C'est là que se forme l'image radiographique numérique pour le transfert direct vers le PC.

Le chariot de positionnement de précision (554 829) disponible séparément permet de placer le capteur pour radiographie exactement à l'endroit souhaité dans l'appareil à rayons X. Les séries d'images tomodensitométriques sont acquises à l'extrémité droite du rail où il est possible d'ajuster le milieu du capteur exactement sur l'axe de rotation du goniomètre. L'extrémité gauche du rail convient quant à elle à la prise de clichés numériques de Laue.

Le logiciel Tomodensitométrie Pro (554 820) vendu séparément permet d'acquérir automatiquement en quelques minutes les projections d'un objet à partir de la façon dont les rayons le traversant sont absorbés suivant leurs angles de pénétration. Déjà pendant l'acquisition, le processus de rétroprojection est visualisé au choix en deux ou trois dimensions. Aussi bien des images en coupe que des images 3D de l'objet en 3D encore inachevé sont ainsi disponibles pour une étude immédiate avec tous les outils de visualisation (rotation, zoom, effets de transparence, coupes, représentation stéréoscopique, illumination similaire au modèle de tracé de rayons d'Heidelberg). Le processus de rétroprojection complète l'objet en 3 D avec chaque nouveau pas de progression angulaire jusqu'à ce qu'il soit finalement achevé.

Malgré la faible énergie de rayonnement X (35 keV) d'un appareil à rayons X pour l'enseignement, on obtient des séries d'images tomodensitométriques haute résolution de différents objets qui permettent une évaluation qualitative et quantitative. L'accent est mis sur la préparation didactique du processus d'acquisition scanner et sur l'exploitation des coupes.

Le kit Tomodensitométrie Pro (554 820P) comprend outre le logiciel, aussi le capteur pour radiographie (554 828) et le chariot de positionnement de précision (554 829). Un appareil à rayons X adapté et un ordinateur performant sont également nécessaires.

Caractéristiques techniques

Tête de capteur analogique

Capteur :	CMOS sans lignes de pixels défectueuses (Premium Grade)
Surface du capteur :	49,2 mm x 48,0 mm (blindée pour une longévité accrue)
Résolution :	1024 pixels x 1000 pixels
Taille des pixels :	48 µm x 48 µm
Sortie vidéo :	analogique (0,5 µV/électron)
Connexion :	connecteur DVI femelle (Dual Link)
Boîtier :	acier inoxydable
Dimensions :	75 mm x 88 mm x 34 mm
Masse :	500 g

Module USB numérisant

Résolution du convertisseur AN :	niveaux de gris 12 bits
Temps de lecture :	env. 3,3 s
Connexion :	USB 2.0 (Full Speed)
Dimensions :	186 mm x 165 mm x 30 mm
Masse :	700 g

Logiciel

Commande :	appareil à rayons X, goniomètre et capteur pour radiographie via USB
Nombre de projections :	1/4/15/45/90/180/360/720 images par série d'images TDM
Résolution angulaire :	jusqu'à 0,5°
Taille de la série d'images TDM :	200 ... 940 pixels par dimension (8 ... 830 méga-voxels)
Versions :	32 bits et 64 bits (pour de plus grandes séries d'images TDM)



Accessoires

Logiciel Tomodensitométrie Pro (554 820)
Accessoires pour la tomodensitométrie (554 826)
Lunettes rouge et cyan (554 827)
Chariot de positionnement de précision pour le capteur pour radiographie (554 829)
Collimateur à trou avec cristaux pour clichés de Laue (554 8381)

Exigences informatiques minimales pour le capteur pour radiographie

L'acquisition en temps réel et l'évaluation d'une série d'images tomodensitométriques impliquent une très grande puissance de calcul du processeur et de la carte graphique. Malgré le degré d'optimisation élevé des algorithmes utilisés, les exigences minimales à satisfaire sont les suivantes :

- Windows XP SP3 ou Windows Vista/7/8 (32 bits ou 64 bits)
- processeur Dual-Core 2,4 GHz
- 3 Go de RAM
- carte graphique 3D (Nvidia GT 630 / AMD HD 6670 ou supérieur)
- 2 x port USB 2.0
- lecteur de DVD

Pour de plus grandes séries d'images tomodensitométriques, nous vous recommandons une plus grande puissance de calcul :

- Windows Vista/7/8 (64 bits)
- processeur Quad-Core 3 GHz
- 8 Go de RAM
- carte graphique 3D avec 2 Go de RAM (Nvidia GTX 660 Ti / AMD HD 7870 ou supérieur)
- 2 x port USB 2.0
- lecteur de DVD

Exigences minimales à satisfaire par l'appareil à rayons X pour le capteur pour radiographie

L'appareil à rayons X doit disposer d'une goulotte pour le cheminement du câble DVI, par ex. l'appareil de base à rayons X (554 800 ou 554 81).

Le goniomètre et le port USB de l'appareil à rayons X, par ex. de l'appareil à rayon X Mo (554 801 ou 554 811USB), sont un complément nécessaire pour l'acquisition de séries d'images tomodensitométriques. L'appareil à rayons X (554 81) avec port série n'est pas utilisable pour la tomodensitométrie.

Le tube à rayons X utilisé est responsable de l'intensité des images. Nous recommandons par conséquent d'utiliser un tube W ou Au.

Firmware de l'appareil à rayons X

Le firmware de l'appareil à rayons X doit lui aussi être compatible avec le logiciel Tomodensitométrie :

- pour 554 801 : version 1.03.A-2.2 ou plus récente
- pour 554 811USB : version 3.03 ou plus récente

La version est visualisée dans les réglages.

Le firmware actuel est inclus au programme « Appareil à rayons X » disponible sous http://www.ld-didactic.com/software/xrsetup.exe.

Module de tomodensitométrie

Le module de tomodensitométrie (554 821) permet de reconstruire en quelques minutes la géométrie tridimensionnelle d'un objet à partir de la façon dont les rayons traversant celui-ci sont absorbés suivant leurs angles de pénétration. Déjà pendant l'acquisition scanner, le logiciel Tomodensitométrie fourni avec le module visualise le procédé de reconstruction en deux ou trois dimensions, au choix. Aussi bien des images en coupe que des images 3D de l'objet en 3D encore inachevé sont ainsi disponibles pour une étude immédiate avec tous les outils de visualisation (rotation, zoom, effets de transparence, coupes, représentation stéréoscopique, illumination similaire au modèle de tracé de rayons d'Heidelberg). Le processus de rétroprojection complète l'objet en 3 D avec chaque nouveau pas de progression angulaire jusqu'à ce qu'il soit finalement achevé.

Malgré la méthode de mesure simple et la faible énergie de rayonnement X (35 keV) d'un appareil à rayons X pour l'enseignement, on obtient des séries d'images tomodensitométriques haute résolution de différents objets qui permettent une évaluation qualitative et quantitative. L'accent est mis ici sur la préparation didactique de l'acquisition scanner et l'évaluation des coupes.

Un appareil à rayons X adapté et un ordinateur performant sont également nécessaires.

Caractéristiques techniques

Fixation de l'objet :	sur le goniomètre de l'appareil à rayons X
Dimensions max. de l'objet :	env. 8 x 8 x 8 cm^3
Résolution de l'objet :	env. 0,25 mm
Résolution angulaire :	1 à 360 projections par série d'images TDM
Taille de la série d'images TDM :	200 à 340 pixels par dimension
Connexion à l'ordinateur :	port USB 2.0
Connexion de l'appareil à rayons X :	port USB 2.0
Sortie vidéo séparée :	Cinch (CCIR)
Alimentation secteur :	230 V, 50/60 Hz
Dimensions (l x H x P) :	53 cm x 34 cm x 24,5 cm
Masse :	13,5 kg

Fournitures

1 module de tomodensitométrie avec caméra noir/blanc photosensible
1 logiciel Tomodensitométrie pour la commande, l'acquisition, la vue en 3D et l'évaluation
1 objet (petit animal séché, une grenouille par ex.)
1 cuve (par ex. pour de l'eau)
1 porte-objet avec support en polystyrène et élastiques
1 câble USB

Accessoires

Adaptateur lego (554 825)
Accessoires pour la tomodensitométrie (554 826)
Lunettes rouge et cyan (554 827)

Exigences informatiques minimales pour le module de tomodensitométrie

L'acquisition en temps réel et l'évaluation d'une série d'images tomodensitométriques impliquent une très grande puissance de calcul du processeur et de la carte graphique. Malgré le degré d'optimisation élevé des algorithmes utilisés, les exigences minimales à satisfaire sont les suivantes :

- Windows XP SP3 ou Windows Vista/7/8 (32 bits ou 64 bits)
- processeur Dual-Core 2 GHz
- 2 Go de RAM
- carte graphique 3D (Nvidia GT 610 / AMD HD 6450 ou supérieur)
- port USB 2.0
- lecteur de DVD

Pour de plus grandes séries d'images tomodensitométriques, nous vous recommandons une plus grande puissance de calcul :

- Windows Vista/7/8 (64 bits)
- processeur Quad-Core 2,4 GHz
- 4 Go de RAM
- carte graphique 3D (Nvidia GT 630 / AMD HD 6670 ou supérieur)
- port USB 2.0
- lecteur de DVD

Exigences minimales à satisfaire par l'appareil à rayons X pour le module de tomodensitométrie

L'appareil à rayons X doit être compatible avec le module de tomodensitométrie utilisé, par ex. :

- appareil à rayons X Mo (554 801 ou 554 811USB), tube au molybdène et goniomètre inclus

L'appareil à rayons X (554 81) avec port série *n'est pas* utilisable.

Le tube à rayons X utilisé est responsable de l'intensité des images projetées sur l'écran fluorescent. Nous recommandons par conséquent d'utiliser un tube au tungstène :

- appareil de base à rayons X (554 800)
- goniomètre (554 831)
- tube à rayons X, W (554 864)

ou

- appareil à rayons X, Mo (554 801), goniomètre inclus
- tube à rayons X, W (554 864)

Firmware de l'appareil à rayons X

Le firmware de l'appareil à rayons X doit lui aussi être compatible avec le module de tomodensitométrie :

- pour 554 801 : version 1.03.A-2.2 ou plus récente
- pour 554 811USB : version 3.03 ou plus récente

La version est visualisée dans les réglages.

Le firmware actuel est inclus au programme « Appareil à rayons X » disponible sous http://www.ld-didactic.com/software/xrsetup.exe.

Logiciel Tomodensitométrie

Introduction

En 1963 et 1964, Allan Cormack publie sa théorie sur la tomodensitométrie (TDM) ou scanographie dans *Journal of Applied Physics*. En 1972, le premier scanner à rayons X a été mis au point par Godfrey Hounsfield et, ensemble avec Allan Cormack, ils ont obtenu le prix Nobel de physiologie et de médecine en 1979. Cette technique de balayage tomographique par ordinateur ou tomodensitométrie consiste à reconstruire un objet à partir de la façon dont les rayons X le traversant sont absorbés suivant leurs angles de pénétration.

Un appareil à rayons X pour l'enseignement permet lui aussi de radiographier des objets et de visualiser les projections correspondantes sur l'écran fluorescent. La luminosité de ces projections est plutôt faible, ce pour quoi une caméra à haute sensibilité est nécessaire pour la saisie par ordinateur. Le capteur pour radiographie (554 828) et la caméra du module de tomodensitométrie (554 821) sont supportés comme caméras.

Si un objet est maintenant mis en rotation avec le goniomètre intégré et qu'une projection est acquise pour chaque pas angulaire, l'ordinateur peut alors reconstruire l'objet irradié à partir de ces projections. Le logiciel didactique Tomodensitométrie illustre, pas à pas et parallèlement au processus d'acquisition des images le processus de rétroprojection nécessaire à la reconstruction et présente ensuite le modèle tridimensionnel de l'objet ainsi réalisé. Contrairement à ce qu'il en est avec des appareils médicaux, ce n'est pas la source de rayons X qui est en rotation mais l'objet à étudier.

Malgré les faibles énergies de rayonnement X (35 keV), on obtient des séries d'images (coupes) plutôt réussies et d'une assez haute résolution permettant l'évaluation qualitative et quantitative. L'accent est mis ici sur le processus didactique de l'acquisition scanner et son évaluation.

Code d'activation

Un code d'activation est nécessaire pour pouvoir utiliser le logiciel avec le capteur pour radiographie (554 828) comme scanner. Ce code d'activation figure sur le bon de livraison du logiciel 554 820 et se compose d'un nom et d'un code. Pour activer le logiciel, il faut saisir ces deux informations ensemble sous **Aide → À propos de …**.

Aucun code d'activation n'est nécessaire pour la réalisation de clichés de Laue ou pour l'acquisition de série d'images tomodensitométriques avec le module de tomodensitométrie (554 821).

Premiers pas

Pour pouvoir procéder à l'acquisition des projections, le rayonnement X doit être enclenché et la caméra doit être positionnée de manière à être bien parallèle à l'axe de rotation et parfaitement centrée :

Installation de la caméra et de l'appareil à rayons X

Pendant l'acquisition des projections sous n angles différents, un algorithme informatique (reconstruction filtrée) permet de déterminer la distribution initiale du coefficient d'atténuation µ linéaire dans le volume radiographié, soit µ(x,y,z), et à partir de ceux-ci, les nombres CT correspondants :

Acquisition des projections et calcul des rétroprojections (balayage TDM)

Plusieurs possibilités de visualisation sont à disposition après l'enregistrement :

- Film des projections pendant une rotation
- Film de la reconstruction des plans de coupe xy, xz, zy
- Représentation 3D et évaluation de la série d'images TDM
- Film 3D

Le point le plus important est la vue en 3D et l'évaluation. Tous les coefficients d'atténuation, nombres CT et intervalles dans la série d'images tomodensitométriques peuvent être déterminés et réprésentés dans la vue en 3D. Un éclairage similaire à celui pour le modèle de tracé de rayons d'Heidelberg rend les vues plus plastiques et des coupes quelconques permettent également la visualisation de fines structures.

Bien sûr que les données 3D ainsi obtenues peuvent aussi être sauvegardées et réutilisées plus tard :

Chargement et sauvegarde des réglages et des données 3D

Des idées et un guide pas à pas pour des expériences personnelles avec le scanner figurent dans le manuel d'expérimentation :

- Exemples d'expériences
- Guide pas à pas

Nous recommandons la documentation suivante pour une étude plus approfondie des notions de base et de l'algorithme de la tomodensitométrie :

A. Kak and M. Slaney, *Principles of Computerized Tomographic Imaging*, IEEE Press 1988, http://www.slaney.org/pct/pct-toc.html.

Installation de la caméra et de l'appareil à rayons X

Vers le guide pas à pas

Actions → Modifier les réglages

Pour pouvoir procéder à l'acquisition des projections, le capteur pour radiographie ou la caméra du module de tomodensitométrie et le rayonnement X doivent être enclenchés de même que la caméra doit être positionnée de manière à être bien parallèle à l'axe de rotation et parfaitement centrée.

Caméra (déroulable avec ≫)

Si une caméra est trouvée au lancement du logiciel, celle-ci sera alors enclenchée automatiquement (● clignote) et sa photo apparaît peu après.

Les réglages de la caméra incluent une possibilité de réglage de l'appareil vidéo. Si le module de tomodensitométrie est connecté à l'ordinateur, le video grabber (module de capture de vidéos) utilisé du module de tomodensitométrie est alors dans la liste de sélection. Ce video grabber dispose d'une entrée S-vidéo à laquelle est connectée la caméra. L'entrée vidéo peut être commutée sur Composite pour l'utilisation d'un video grabber externe.

La caméra peut être enclenchée manuellement avec ▶ et arrêtée avec ■.

Défauts de pixels

Si l'image noire de la caméra est parsemée de points clairs gênants, il est possible de les supprimer à l'aide d'une liste des pixels défectueux. Il en est de même en cas de points sombres gênants lorsque le rayonnement X est enclenché. La liste des pixels défectueux est automatiquement complétée par **Identifier les pixels défectueux à partir d'image d'obscurité et/ou de champ plat**. Les pixels de la liste ne sont alors plus mesurés mais interpolés à partir des pixels voisins.

Offset

Lorsque le rayonnement X n'est pas enclenché, le capteur pour radiographie fournit une faible image d'offset susceptible d'être calculée à l'aide de **Créer image d'offset à partir d'images d'obscurité**. Ce faisant, le calcul de la moyenne des images d'offset est effectué pendant tout le temps où le bouton est maintenu enfoncé.

Lors de la création de clichés de Laue avec le capteur pour radiographie, l'offset doit être préalablement déterminé étant donné qu'il peut être plus grand que le cliché de Laue proprement dit.

Référence

L'écran fluorescent n'est pas éclairé parfaitement uniformément lorsque le rayonnement X est enclenché. Le point le plus clair de l'écran fluorescent caractérise normalement l'intensité de référence (atténuation 0%) à laquelle les projections acquises sont adaptées. Avec la fonction **Créer image de référence à partir d'images de champ plat**, chaque point de l'écran fluorescent reçoit sa propre intensité de référence et les projections sont ensuite éclairées uniformément. Ce faisant, le calcul de la moyenne des images de référence est effectué pendant tout le temps où le bouton est maintenu enfoncé. Avant de procéder à l'enregistrement de l'image de référence, il faut retirer l'objet avec support de l'appareil à rayons X. Le carré rouge dans l'aperçu doit être vide.

Lors de la création de clichés de Laue avec le capteur pour radiographie, le cliché de Laue est réalisé comme étant une mesure de référence dont il est possible de régler l'intensité avec le curseur adjacent.

Remarques concernant le capteur pour radiographie

Le temps d'intégration doit être réglé suivant le tube utilisé sur 825 ms (pour les tubes W et Au) ou sur 1750 ms (pour les tubes Mo et Ag). La durée d'acquisition d'une image, y compris sa transmission, correspond toujours à un multiple entier de ce temps d'intégration, soit en général 3,3 s ou 3,5 s, suivant le temps d'intégration.

Remarques concernant le module de tomodensitométrie

Du fait de l'image plutôt faible de l'écran fluorescent, chacune des images de la caméra est fortement grenue. Il convient par conséquent de déterminer une moyenne à partir de plusieurs trames vidéo avant de faire entrer celles-ci en ligne de compte pour le calcul d'une série d'images tomodensitométriques. La moyenne est en principe issue de 20 trames vidéo. C'est ainsi que chaque prise de vue dure à peine une seconde. En cas d'utilisation du tube à rayons X Mo ou Ag, il est recommandé d'augmenter le nombre de trames prises en compte dans la moyenne parce que le tube génère un rayonnement X nettement moins important que le tube à rayons X W ou Au. Aucune moyenne n'est réalisée à partir des images à la sortie vidéo externe.

Rayonnement X (déroulable avec ≚)

Lorsque l'appareil à rayons X est en marche, fermé et raccordé à l'ordinateur, le rayonnement X peut être enclenché avec ▶ (● clignote) et désactivé avec ■.

Lorsque l'appareil à rayons X est en marche et connecté à l'ordinateur, sa version est alors affichée et il est possible de régler les valeurs recommandées de 35 kV pour la haute tension et 1 mA pour le courant anodique.

Le coefficient d'atténuation µ de l'eau est nécessaire pour convertir les coefficients d'atténuation mesurés en nombres CT. Il est préréglé mais il n'est malheureusement pas constant (voir Remarque). Les nombres CT H se calculent à partir des coefficients d'atténuation µ mesurés par

$H = 1000 * (\mu - \mu_{eau}) / \mu_{eau}$.

Le nombre CT de l'air est ainsi H = -1000 HU (unités de Hounsfield) et celui de l'eau H = 0 HU.

Remarque

La valeur allouée de 35 kV entraîne un spectre d'énergie polychromatique fonction du matériau utilisé pour l'anode qui s'étend jusqu'à 35 keV. La base de l'algorithme de reconstruction est l'atténuation du rayonnement X au passage à travers la matière d'une épaisseur d avec le coefficient d'atténuation µ :

$I = I_0 * e^{-\mu d}$.

Le coefficient d'atténuation µ dépend cependant de l'énergie, ce pour quoi l'équation est seulement valable pour un rayonnement X monochromatique. Un rayonnement X plus énergétique est en règle générale moins atténué.

Pour observer cet effet, il suffit de radiographier un récipient rempli d'eau, d'épaisseur variable. Plus il y a d'eau qui atténue le rayonnement X, plus l'énergie moyenne du rayonnement X qui en sort est importante parce que les faibles composantes énergétiques sont plus fortement atténuées que les fortes composantes énergétiques. L'eau durcit donc le rayonnement X.

C'est ainsi que plus la quantité d'eau radiographiée est grande, plus le coefficient d'atténuation µ mesuré est faible. Du reste, le coefficient d'atténuation mesuré dépend du matériau de l'anode du tube, de l'épaisseur de la fenêtre de sortie et de la haute tension réglée.

Tous ces effets n'ont pas été corrigés dans le logiciel, raison pour laquelle les nombres CT visualisés dépendent par ex. aussi légèrement de l'épaisseur du matériau radiographié.

Ajustage de l'image et calibrage

La **correction de la distorsion** (seulement pour le module de tomodensitométrie) supprime la distorsion en forme de barillet qui survient habituellement avec les objectifs de caméra à courte distance focale. Elle est préréglée sur 5%. Cette valeur se vérifie et se corrige s'il y a lieu en plaçant une feuille de papier à carreaux devant l'ouverture du module de tomodensitométrie.

Le **décalage horizontal** du pointeur rouge en croix (croix de visée) est réglé de manière à ce qu'à l'horizontale, il soit bien au centre de l'écran fluorescent. Si le décalage est plus important, il convient alors de vérifier le montage de la caméra dans le module de tomodensitométrie.

Le **décalage vertical** du pointeur rouge en croix du milieu de l'axe de rotation devrait être égal à 0. Il est recommandé de remédier au décalage par rapport à l'axe de rotation par une correction de l'axe de rotation.

Pour un calibrage en longueur du scanner, la **taille de l'écran fluorescent** (seulement pour le module de tomodensitométrie) doit être réglée de manière à ce que le cercle rouge délimite exactement l'écran fluorescent visualisé. Si ceci n'est pas vraiment possible, le **décalage vertical de l'écran** peut alors être adapté en conséquence. Le décalage horizontal a déjà été réglé.

L'indication de la **distance écran - axe de rotation** est elle aussi nécessaire pour le calibrage en longueur du scanner. La distance conseillée de 40 mm (avec le capteur pour radiographie) ou 80 mm (avec le module de tomodensitométrie) correspond à un goniomètre complètement à droite.

Taille de la série d'images TDM

Plus le nombre de projections acquises est faible, plus les reconstructions sont petites et plus l'acquisition scanner a lieu rapidement. Les erreurs de reconstruction augmentent au fur et à mesure que le nombre de projections diminue et le volume reconstruit diminue au fur et à mesure que la taille des reconstructions diminue.

Plus le nombre de projections acquises est grand, plus les reconstructions sont grandes et plus l'acquisition scanner a lieu lentement. Les erreurs de reconstruction diminuent au fur et à mesure que le nombre de projections augmente et le volume reconstruit augmente au fur et à mesure que la taille des reconstructions augmente.

Hormis certaines expériences à intérêt didactique avec un petit nombre de projections, le nombre de projections recommandé est de 180 ou 360 angles.

La taille de la projection devrait toujours être supérieure à celle de la reconstruction. La taille de la projection est visualisée avec le carré rouge dans l'aperçu.

La taille de la reconstruction ne doit pas être choisie plus grande que ne le requiert l'objet soumis à l'examen.

Remarques concernant le capteur pour radiographie

En principe, les séries d'images TDM sont calculées avec la résolution réduite de moitié du capteur de 96 µm. Cela signifie que les projections ont une taille de maximum 500 x 500 pixels² et que la longueur d'arête maximale utile d'une série d'images TDM de 460 pixels correspond à environ 4 cm dans la réalité. Le PC et la carte graphique traitent tout de même jusqu'à 100 méga-voxels (100 millions de points volumétriques).

Pour les ordinateurs particulièrement puissants, il est possible d'utiliser la pleine résolution du capteur de 48 µm à l'aide de **Pleine résolution (demi-longueur d'arête)**. La taille maximale des projections augmente jusqu'à 1000 x 1000 pixels². La longueur d'arête de 460 pixels ne correspond alors plus qu'à environ 2 cm, mais peut être augmentée jusqu'à 940 pixels (auquel cas elle correspond à environ 4 cm). Les exigences à satisfaire par l'ordinateur et la carte graphique augmentent ainsi du fait de la nécessité de devoir traiter plus de 830 méga-voxels, ceci étant encore réalisable seulement avec un système d'exploitation de 64 bits, 8 Go de RAM et une carte graphique performante.

Si la puissance de la carte graphique ne suffit pas pour effectuer en 2 s le rendu d'une nouvelle image en 3D, Windows désactive le pilote de carte graphique pour ensuite le relancer. Dans un tel cas, veuillez sélectionner une plus petite taille de reconstruction ou bien une carte graphique plus performante.

Taille de la reconstruction	Pleine résolution	Résolution en voxels	Arête du cube	Taille du fichier
256 x 256 x 256 pixels³	non	86 µm	2,2 cm	31 Mo
340 x 340 x 340 pixels³	non	86 µm	3 cm	150 Mo
460 x 460 x 460 pixels³	non	86 µm	4 cm	370 Mo
512 x 512 x 512 pixels³	oui	43 µm	2,2 cm	512 Mo
700 x 700 x 700 pixels³	oui	43 µm	3 cm	1,3 Go
940 x 940 x 940 pixels³	oui	43 µm	4 cm	3,2 Go

À cause de la rétroprojection conique, la résolution en voxels de la série d'images tomodensitométriques est légèrement meilleure que la résolution en pixels du capteur.

Export AVI (déroulable avec ≽)

L'export AVI utilise le compresseur vidéo réglable. Il est ici possible de régler tous les filtres DirectShow installés.

La vitesse indiquée définit le nombre d'images individuelles qui doit défiler par seconde et avec lui, aussi la vitesse du film des projections et des films des reconstructions.

Le film 3D est limité par le temps maximal d'enregistrement qu'il est possible de régler. Les 20 s prédéfinies suffisent exactement pour un tour avec Effets → Animation autour de l'axe de rotation.

Pendant un export AVI, les images individuelles nécessaires sont mémorisées temporairement dans le répertoire Frames*Nom du projet*. Si les images sont requises à d'autres fins, il est ici possible de désactiver l'effacement consécutif.

Il est ici possible de passer du format anaglyphe au format côte à côte (croisé) pour l'export de vidéos ou la sauvegarde d'images pendant une vue stéréoscopique.

Acquisition des projections et calcul des rétroprojections (balayage TDM)

Vers le guide pas à pas

Pendant et après l'acquisition scanner, la série d'images tomodensitométriques peut être visualisée au choix sous forme de vue en 2D ou 3D.

Balayage TDM → Lancer l'acquisition scanner …

Lorsque la caméra et le rayonnement X sont enclenchés et que la caméra est ajustée, il ne reste plus qu'à définir le nom du projet sous lequel les réglages et les données 3D seront sauvegardés une fois la série d'images TDM réalisée.

Pendant l'acquisition scanner, toutes les projections acquises sont sauvegardées automatiquement dans le sous-répertoire Projections*Nom du projet*. Cette collection d'images est la base de données pour le calcul d'une série d'images TDM et permet, aussi après coup, de procéder à un nouveau calcul de la série d'images.

Si avant le démarrage, une animation autour de l'axe de rotation ou l'enregistrement d'un film 3D ont été activés, ils seront alors réinitialisés. L'animation recommence à 0° et l'enregistrement du film 3D redémarre. De cette manière, il est possible d'exporter des vidéos qui montrent le processus de rétroprojection en 3D.

Balayage TDM → Recalculer les coupes

Si une série d'images tomodensitométriques a déjà été chargée, elle peut alors être recalculée. Pour ce faire, les options de présentation et de visualisation sont toutes disponibles, comme pour l'acquisition véritable. Ceci s'avère très utile s'il s'agit de procéder à l'acquisition sans caméra et sans l'appareil à rayons X, par ex. pour se familiariser avec le programme.

Pour pouvoir recalculer, le sous-répertoire Projections*Nom du projet* généré pour l'acquisition initiale est nécessaire.

Si avant le démarrage, une animation autour de l'axe de rotation ou l'enregistrement d'un film 3D ont été activés, ils seront alors réinitialisés. L'animation recommence à 0° et l'enregistrement du film 3D redémarre. De cette manière, il est possible d'exporter des vidéos qui montrent le processus de rétroprojection en 3D.

Balayage TDM → Stopper et poursuivre l'acquisition scanner

Il est à tout moment possible de stopper et de relancer l'acquisition d'une série d'images TDM.

Balayage TDM → Terminer l'acquisition scanner

Il est à tout moment possible de mettre fin à l'acquisition d'une série d'images TDM.



Vue en 2D et correction d'une série d'images tomodensitométriques

Vers le guide pas à pas

Une série d'images tomodensitométriques peut être évaluée ou représentée sous forme bidimensionnelle pendant ou après son acquisition ou après son chargement.

Effets → Dégradé

Il est possible de choisir parmi 5 dégradés différents. Plus le dégradé est nuancé, plus de petits changements dans le coefficient d'atténuation µ prendront une couleur distincte. Par contre, les voxels au bord d'un objet ne sont en principe pas complètement remplis. La valeur de µ est alors une moyenne de coefficients et il peut se former des franges colorées.

2D Intensité (déroulable avec ≚)

Pendant ou après l'acquisition scanner, l'intensité de la série d'images TDM peut être réglée de manière à visualiser un maximum de détails mais peu d'artefacts.

2D Représentation (déroulable avec ≚)

Le graphique à droite montre pendant le calcul d'une série d'images TDM soit

- les projections telles qu'elles ont été acquises par la caméra, soit
- les projections logarithmisées, soit
- les projections logarithmisées filtrées telles qu'elles sont rétroprojetées dans le volume affiché à gauche.

Pour la rétroprojection, les projections filtrées et logarithmisées sont d'abord cadrées sur l'axe de rotation puis « étalées » dans le volume le long du cône de rayonnement. Ceci peut être illustré par les lignes de marquage visualisées.

Pendant ou après l'acquisition scanner, la grande barre à coulisse en bas de la fenêtre permet de régler le plan z qui doit être visualisé dans le volume rétroprojeté. Du fait de la géométrie du cône de rayonnement, le plan médian ne requiert qu'une seule colonne de projection pour la rétroprojection. Il en faut plus dans les zones extérieures, ceci étant évoqué par les lignes de marquage verticales rouges.

2D Correction (déroulable avec ≚)

Après l'acquisition scanner, l'axe de rotation peut être corrigé à la position réglée pour le plan z (grande barre à coulisse). Un axe de rotation incorrect se traduit par des images fantômes dans la série d'images. Ces images fantômes peuvent être évitées par une correction de l'axe de rotation :

- Effectuer une correction de l'axe de rotation pour z = 25 % (bord gauche) et sélectionner **1ère position**. Ensuite, le logiciel essaie d'optimiser automatiquement la netteté de l'image de ±3 pixels. S'il échoue, ajuster manuellement puis resélectionner **1ère position**.
- Effectuer une correction de l'axe de rotation pour z = 75 % (bord droit) et sélectionner **2ème position**. Ensuite, le logiciel essaie d'optimiser automatiquement la netteté de l'image de ±3 pixels. S'il échoue, ajuster manuellement puis resélectionner **2ème position**.
- Régler les vis d'ajustage du chariot de positionnement de précision ou du module de tomodensitométrie conformément au croquis affiché.
- Acquérir de nouvelles coupes avec **Balayage TDM → Lancer l'acquisition scanner**.
- Au plus tard après la deuxième correction, aucune autre correction de l'axe de rotation ne devrait plus être nécessaire.



Vue en 3D et évaluation d'une série d'images tomodensitométriques

Une série d'images tomodensitométriques peut être évaluée ou représentée sous forme tridimensionnelle pendant ou après son acquisition ou après son chargement.

3D Actions → Visualiser vue en 3D

Les axes x et y de la représentation pointent vers la droite et le haut. L'axe z sort du moniteur et forme un système de coordonnées dit « main droite » avec les axes x et y.

3D Tourner

Le bouton gauche de la souris étant maintenu enfoncé, il est ici possible de faire tourner l'objet autour de l'axe x et de l'axe y suivant le déplacement de la souris. Une rotation autour de l'axe z est seulement possible en cliquant sur la zone extérieure à la surface de l'écran et en la faisant tourner pour ainsi dire autour de l'objet.

3D Zoomer

Le bouton droit de la souris étant maintenu enfoncé, l'objet peut être zoomé suivant le déplacement de la souris.

Effets → Réinitialiser angle et zoom

Ramène le réglage de l'angle et celui du zoom à leurs valeurs initiales.

90° Effets → Tourner de 90°

Tourne le volume visualisé de 90°. Il est ainsi facile de passer de la représentation initiale à une représentation tournée vers la source de rayons X.

Effets → Représenter seulement plan de coupe (2D)

Le pointeur en croix visualisé de la souris se déplace toujours seulement dans un plan bidimensionnel (le plan de coupe z), ce pour quoi les coordonnées visualisées en haut à droite se rapportent aussi toujours à ce plan de coupe.

Il est possible de déplacer ce plan de coupe d'avant en arrière avec la grande barre à coulisse en bas de la fenêtre. Seules les parties de l'objet situées derrière le plan de coupe sont visualisées dans la représentation en 3D. Plus la coulisse est déplacée vers la droite, moins il y a de parties visualisées de l'objet. Pour passer à la représentation en 2D, il convient de sélectionner . Il n'y a alors plus que le plan de coupe lui-même qui est représenté.

Dans cette représentation en 2D, le pointeur en croix de la souris et avec lui l'affichage des coordonnées correspondent exactement à la partie de l'objet qui est visualisée en dessous. Outre les coordonnées, le coefficient d'atténuation µ respectivement mesuré et le nombre CT H sont eux aussi indiqués ici. Le nombre CT H se calcule à partir du coefficient d'atténuation µ :

$H = 1000 * (\mu - \mu_{eau}) / \mu_{eau}$.

Le nombre CT de l'air est ainsi H = -1000 HU (unités de Hounsfield) et celui de l'eau H = 0 HU.

Il est certes possible de régler μ_{eau}, sachant toutefois que µeau dépend aussi de la dureté du rayonnement X. Comme le logiciel n'effectue pas cette correction, le nombre CT dépend par conséquent lui aussi de la dureté du rayonnement X – donc par ex. aussi de l'épaisseur de la matière irradiée.

3D Déterminer les distances

Après un simple clic avec le bouton gauche de la souris (donc sans se déplacer avec le bouton de la souris maintenu enfoncé), il apparaît une ligne de marquage rouge d'une longueur mesurée sur le plan de coupe. Cette ligne de marquage est fixée par un deuxième clic avec la souris.

Il est possible de modifier le plan de coupe durant une mesure de la distance à l'aide de la molette de la souris (réglage grossier) ou des touches de curseur (réglage fin). Il est ainsi possible de déterminer des distances tridimensionnelles.

3D Intensité et transparence

Les données de mesure 3D sont disponibles sous forme de cube constitué d'un grand nombre de voxels (petits cubes). Suivant la résolution des reconstructions sélectionnée, il peut s'agir de jusqu'à 830 millions de voxels. Chaque voxel correspond ici au coefficient d'atténuation µ du volume irradié à cet endroit.

Les voxels survenant dans le volume sont visualisés dans un histogramme noir. Complètement à gauche, tous les voxels sont affichés avec µ = 0 /cm. Normalement, la barre a une hauteur telle qu'elle sort largement de l'histogramme (c'est surtout de l'air). La valeur de droite de l'histogramme dépend de la position du curseur de

réglage de l'intensité. Plus ce curseur est décalé vers la droite et avec lui la répartition dans l'histogramme, plus la valeur du coefficient µ affiché à droite est faible. La valeur actuelle de µ sous le pointeur de la souris apparaît en haut à droite dans l'affichage de l'état.

Un coloris issu du dégradé sélectionnable, visualisé en dessous est assigné à chaque position dans l'histogramme et donc à chaque voxel. Le dégradé peut encore être délimité avec la souris par les deux lignes blanches. Si le matériau de bourrage utilisé autour d'un objet est par exemple de l'ouate, celui-ci peut être masqué en rehaussant légèrement la limite gauche pour que l'objet proprement dit se voit mieux.

Pour la représentation du plan de coupe (2D) et la vue en 2D, le coloris ainsi déterminé pour chaque voxel visualisé est celui affiché.

Pour la vue en 3D, la plupart des voxels doivent toutefois être transparents puisque l'on ne verrait sinon que les surfaces extérieures en principe noires du cube. Le degré de la transparence variable suivant la couleur se règle avec le curseur de réglage de la transparence et il est illustré par la courbe de transparence rouge. Plus le curseur de réglage est déplacé vers la droite, plus les voxels sont transparents.

Effets → Dégradé

Il est possible de choisir parmi 5 dégradés différents. Plus le dégradé est nuancé, plus de petits changements dans le coefficient d'atténuation µ prendront une couleur distincte. Par contre, les voxels au bord d'un objet ne sont en principe pas complètement remplis. La valeur de µ est alors une moyenne de coefficients et il peut se former des franges colorées.

Si la « vision normale des couleurs » est désactivée, il est alors possible de choisir parmi 3 dégradés optimisés pour les personnes qui souffrent d'achromatopsie rouge-vert.

Effets → Animation

Les deux animations (autour de l'axe de rotation et avec la souris) font librement tourner l'objet 3D autour d'un axe. Soit cet axe est l'axe de rotation pendant l'acquisition (axe z de l'objet), soit il est défini en faisant tourner l'objet avec la souris.

Pendant une animation aussi, il est possible de filmer ce qui est visualisé sur l'écran et le film 3D peut être exporté sous forme de fichier AVI.

Effets → Visualiser le cube

Pour une meilleure orientation, la délimitation des coupes tomodensitométriques est évoquée par les arêtes du cube.

Effets → Allumer la lumière

Les couleurs sont déterminées et représentées par les curseurs de réglage de l'intensité et de la transparence sans lumière (seulement la lumière ambiante).

Avec de la lumière, deux sources lumineuses sont enclenchées comme pour le modèle de tracé de rayons d'Heidelberg pour éclairer l'objet par devant et suivant un certain angle, par le haut. Les surfaces de l'objet sont ainsi elles aussi considérées. Si une surface est tournée vers une source lumineuse, elle devient plus claire que toutes les autres surfaces (réflexion diffuse). Il y a en supplément de la lumière émise par une source lumineuse qui incide dans l'œil virtuel de l'observateur lorsqu'elle est réfléchie sur une surface (réflexion spéculaire ou directionnelle).

La lumière donne une meilleure impression spatiale et permet de mieux voir les fins contours, mais aussi les erreurs de mesure. Le calcul de l'effet de lumière exige de la carte graphique qu'elle soit dotée d'une très grande puissance de calcul.

Si la puissance de la carte graphique ne suffit pas pour effectuer en 2 s le rendu d'une nouvelle image en 3D, Windows désactive le pilote de carte graphique pour ensuite le relancer. Dans un tel cas, veuillez sélectionner une plus petite taille de reconstruction ou bien une carte graphique plus performante.

3D Paramètres de lumière (déroulable avec ≫)

Les trois composantes de lumière (ambiante, diffuse, spéculaire) peuvent être modifiées séparément.

Effets → Vue stéréoscopique (rouge-cyan)

À l'aide de lunettes pour anaglyphes disposant d'un filtre rouge (devant l'œil gauche) et d'un filtre cyan (devant l'œil droit), la vue stéréoscopique permet d'obtenir une impression spatiale très réaliste. La restitution possible des couleurs est par contre limitée, pour ce qui est de la vue la plus impressionnante, elle est obtenue en noir et blanc – éventuellement sur fond blanc. Les deux possibilités peuvent être réglées dans le dégradé.



Pendant la vue stéréoscopique aussi, il est possible d'exporter les images individuellement et sous forme de vidéo. Dans les réglages spécifiques à l'export AVI, il y a moyen de passer du format anaglyphe au format côte à côte (croisé).

Environ 5 % des gens ont une perception visuelle spatiale tellement limitée qu'aucune impression spatiale ne survient avec la vue stéréoscopique.

Effets → Plein écran

Pour une plus grande représentation 3D, l'image peut être agrandie afin de remplir tout l'écran auquel cas les fonctionnalités ne sont plus toutes disponibles. Il est néanmoins encore possible de zoomer et de tourner et les effets du menu contextuel (touche droite de la souris) sont eux aussi encore disponibles.

Il est possible de quitter le plein écran soit par le biais du menu contextuel, soit en appuyant sur une touche quelconque.

3D Réglages graphique 3D (déroulable avec ≚)

Suivant la carte graphique utilisée, l'ancienneté du pilote de périphérique et le système d'exploitation utilisé, il peut s'avérer nécessaire de modifier les réglages graphique suggérés afin d'obtenir une représentation optimale.

S'il y a plusieurs cartes graphiques dans le système informatique, la carte graphique 3D requise doit être choisie comme adaptateur.

En cas de formation trop lente de l'image, il est possible de réduire la résolution en profondeur. Les voxels existants ne sont alors pas tous tracés et il se produit une perte d'information. Une autre possibilité consiste en la réduction de la taille des reconstructions. Par contre, la reconstruction doit ensuite être recalculée (Balayage TDM → Recalculer les coupes).

Le calcul de l'éclairage requiert les vecteurs normaux de chaque élément volumique. Ceux-ci peuvent être préalablement calculés par le CPU (processeur principal) ou le GPU (processeur graphique). Le calcul par le GPU nécessite un emplacement de mémoire beaucoup moins important dans la carte graphique mais en règle générale, il dure plus longtemps que la lecture des vecteurs normaux préalablement calculés par le CPU.

Certaines cartes graphiques plus anciennes mettent moins longtemps à visualiser le volume lorsque la texture volumique est agrandie d'une longueur d'arête de 2^n pixels. Si on travaille avec une résolution des reconstructions de 256x256x256 ou 512x512x512, cette option ne fait alors aucune différence.



Chargement et sauvegarde des réglages et des données 3D

Projet → Ouvrir

Charge un projet existant accompagné de réglages et de données 3D. Les réglages ont l'extension de fichier *.ct. Les données 3D chargées automatiquement portant le même nom sont dotées de l'extension *.ct3d.

Après l'ouverture d'un projet, le processus de reconstruction peut être visualisé par le biais de Balayage TDM → Recalculer les coupes ou évalué par le biais de Vue → Visualiser vue en 3D.

La création de divers exports AVI est également possible.

Un nouveau projet peut être créé seulement par le biais de Balayage TDM → Lancer l'acquisition scanner.

Projet → Sauvegarder

Sauvegarde les propriétés actuelles du projet (par ex. l'intensité, la transparence, les paramètres de lumière). Une nouvelle sauvegarde des données 3D n'a pas lieu.

De nouvelles données 3D sont sauvegardées automatiquement à la fin du calcul d'une série d'images TDM avec les propriétés inhérentes au projet.

Export en bitmap et AVI

Les possibilités d'export mises à disposition sont variées. La visualisation ou le défilement nécessitent l'utilisation d'un lecteur normalement mis en route par double clic sur le fichier exporté.

L'export AVI utilise les réglages de l'export AVI.

Projet → Sauvegarder comme image

Il est possible de procéder à la sauvegarde directe au format bitmap d'images individuelles pendant l'installation de la caméra ou la vue en 3D.

Projet → Exporter comme → Film des projections

Pendant l'acquisition scanner, toutes les projections acquises sont sauvegardées automatiquement dans le sous-répertoire Projections*Nom du projet*. Cette collection d'images est la base de données pour le calcul d'une série d'images TDM et elle permet également la réalisation d'un film des projections qui montre exactement toutes les projections enregistrées pendant un tour du goniomètre. La base de données est ainsi aussi disponible pour l'œil humain dans un format judicieux.

La quantité de détails observés au visionnement répété d'un film des projections est impressionnante par rapport à ce que l'on observe avec une seule radiographie. Pour des évaluations d'une plus grande exactitude, la série d'images TDM calculée convient bien mieux.

Projet → Exporter comme → Film de la reconstruction xy, xz ou zy

Une série d'images tomodensitométriques calculée ou chargée peut être exportée comme film 2D (dans les plans xy, xz ou zy). La totalité des informations de la série d'images figure dans chacun de ces films.

Projet → Exporter comme → Film 3D

Pendant la vue en 3D d'une série d'images tomodensitométriques, il peut être créé un clip vidéo individuel qui restitue exactement les images actuellement générées dans la vue en 3D. Il est interdit de modifier la taille de la fenêtre pendant la réalisation du clip vidéo.

La durée du clip est limitée dans les réglages de l'export AVI. Il est toutefois possible d'y mettre fin manuellement avant l'écoulement du temps spécifié.

Si l'enregistrement d'un film 3D a été activé avant le lancement d'une acquisition scanner ou d'un nouveau calcul, l'enregistrement du film 3D redémarre alors lui aussi au lancement de l'acquisition scanner ou du nouveau calcul. De cette manière, il est possible d'exporter des vidéos qui montrent le processus de rétroprojection en 3D.



Exemples d'expériences et guide d'expérimentation

Vers le guide pas à pas

Simulation

Le CD d'installation contient quelques exemples de séries d'images tomodensitométriques acquises sauvegardés dans le sous-répertoire Examples. Pour des raisons de place, ils n'ont pas été installés automatiquement avec le programme. Si vous souhaitez copier l'une de ces séries d'images sur votre disque dur, alors n'oubliez pas qu'une série d'images complète se compose de plusieurs fichiers :

- *Nom du projet*.ct contient la configuration
- *Nom du projet*.ct3d contient les données 3D proprement dites
- Projections*Nom du projet* est un répertoire dans lequel se trouvent les projections acquises. Les projections ne sont nécessaires que si la série d'images doit être recalculée.

Ces exemples peuvent être simulés par le biais de ▶Balayage TDM → Recalculer les coupes même sans le module de tomodensitométrie puis visualisés en 2D ou 3D et évalués. Une alternative consiste à visualiser et à évaluer les exemples après l'ouverture d'un projet sans recalculer quoi que ce soit.

Des vidéos (en partie aussi stéréoscopiques) consacrées à la tomodensitométrie sont disponibles sur notre canal YouTube http://www.youtube.com/user/lddidactic. Pour réaliser ses propres vidéos, il est recommandé d'utiliser l'export AVI du logiciel. Il est ensuite possible d'allouer des titres ou de couper les vidéos par ex. avec le Windows Movie Maker.

Types d'objets appropriés

Le logiciel laisse une grande liberté d'action à son utilisateur pour ce qui est de la réalisation de ses propres expériences compte tenu du fait qu'il est possible d'examiner une grande variété d'objets. Les critères à considérer pour le choix des objets sont les suivants :

- **Pas d'être vivant**
  La dose d'irradiation dans l'appareil à rayons X pendant un balayage TDM est très importante. Suivant la durée du balayage TDM, la dose d'irradiation émise peut être supérieure à 1 Sv.
- **Seulement des corps rigides**
  L'objet examiné doit être fixé au goniomètre et effectue un tour autour de l'axe du goniomètre pendant le balayage TDM. Ce faisant, sa géométrie ne doit pas changer. Il se forme sinon des ombres dans la reconstruction.
- **Pas de métaux, pas de substances très denses**
  L'algorithme de reconstruction suppose que l'atténuation du rayonnement X peut être calculée en tous points de l'écran fluorescent. Mais si cette atténuation est trop importante, il se produit alors des artefacts bien visibles lors de la reconstruction parce que les projections sur l'écran fluorescent présentent une certaine inconsistance.
- **Seulement de petits objets**
  Pour une reconstruction complète, les objets doivent rentrer dans le volume radiographié. Avec le capteur pour radiographie, le volume radiographié est de maximum 4 x 4 x 4 cm³. Le module de tomodensitométrie (554 821) permet avec une résolution nettement plus faible un volume radiographié maximal plus grand de 8 x 8 x 8 cm³.

Voici quelques exemples d'expériences qui valent vraiment la peine d'être réalisés :

- Cuve à eau en plastique pour la détermination du coefficient d'atténuation μ_{eau}. Le scanner peut ainsi être calibré pour les nombres CT. Veuillez tenir compte de la possibilité de réglage et des erreurs systématiques.
- De petits organismes morts lyophilisés tels que des grenouilles peuvent être tout simplement placés sur un porte-objet réalisé en legos (de 554 826) ou bien emballés avec de l'ouate dans une boule de polystyrène creuse. Il est possible de masquer les éventuelles ombres gênantes de l'ouate sur les coupes avec limiter le dégradé. La densité variable des différentes substances (os, yeux, chair) se voit très bien.
- Des petites figurines en plastique pour les enfants peuvent être radiographiées sans aucun problème, avec ou sans emballage, et mesurées par ex. dans n'importe quelle position ou bien examinées en vue de la détection d'éventuelles inclusions d'air.
- Les accessoires pour la tomodensitométrie (554 826) disponibles en option ou l'adaptateur lego (554 825) permettent de soumettre de petites constructions en legos et personnages lego à un examen tomodensitométrique.



Guide pas à pas

Avant l'acquisition scanner, veuillez vous assurer que l'objet soumis à l'examen soit approprié.

Indépendamment de l'objet examiné proprement dit, la marche à suivre pour l'acquisition scanner est toujours la même :

Préparatifs

- Installer le tube à rayons X W, Au, Mo ou Ag (tungstène, or, molybdène ou argent) dans l'appareil à rayons X.
- Enlever le collimateur, le porte-capteur et le porte-cible de l'appareil à rayons X.
- Pousser le goniomètre complètement vers la droite et le fixer.
- Fixer l'objet soumis à l'examen sur l'axe du goniomètre puis fermer les portes. Coller de préférence les petits objets sur des plaques lego (par ex. de 554 826) pour les fixer ensuite au goniomètre à l'aide de l'adaptateur lego (lui aussi dans 554 826). Une alternative consiste à utiliser la boule en polystyrène et son support fournis avec le module de tomodensitométrie.
- Connecter les appareils au PC et les mettre en marche.
- Lancer le logiciel Tomodensitométrie.

Mise en service du capteur pour radiographie

- Le capteur pour radiographie doit enregistrer des images sombres. Cela se reconnaît au clignotement du point rouge (●) dans les réglages de la caméra. Si tel n'est pas le cas, vérifier les connexions et l'appareil vidéo dans les réglages de la caméra.
- Régler le temps d'intégration dans les réglages de la caméra sur 825 ms (pour les tubes W et Au) ou sur 1750 ms (pour les tubes Mo et Ag).
- Si l'image noire de la caméra est parsemée de points clairs gênants, ces derniers peuvent être supprimés moyennant une liste de pixels défectueux dans les réglages de la caméra. Il en est de même en cas de points sombres gênants lorsque le rayonnement X est enclenché.
- Il est ici aussi possible d'effectuer la correction d'offset et de champ plat et d'améliorer ainsi la qualité de la série d'images TDM. Pendant la correction de champ plat, il convient de retirer temporairement l'objet soumis à l'examen et d'enclencher le rayonnement X.
- Enclencher le rayonnement X avec ▶.
- En cas de saturation de l'affichage de l'exposition à côté du point rouge supérieur clignotant (●), soit diminuer le temps d'intégration d'un échelon, soit réduire le courant anodique du tube à rayons X.
- Procéder à l'ajustage de l'image et au calibrage. Les paramètres réglés ici sont mémorisés et sont à nouveau disponibles au prochain lancement du logiciel. Si l'ajustage de l'image et le calibrage ont été effectués avec succès et que le montage expérimental n'a pas été modifié, il n'est alors pas nécessaire de renouveler les réglages.

Mise en service du module de tomodensitométrie

- La caméra dans le module de tomodensitométrie doit enregistrer des images sombres. Cela se reconnaît au clignotement du point rouge (●) dans les réglages de la caméra. Si tel n'est pas le cas, vérifier les connexions, l'appareil vidéo et l'entrée vidéo dans les réglages de la caméra.
- Si de la lumière s'infiltre dans le module de tomodensitométrie, vérifier le positionnement du module et au besoin, rapprocher celui-ci de l'appareil à rayons X.
- Si l'image noire de la caméra est parsemée de points clairs gênants, ces derniers peuvent être supprimés moyennant une liste de pixels défectueux dans les réglages de la caméra. Une correction de champ plat serait ici également possible, mais elle n'est en principe pas nécessaire. Pour ce faire, il conviendrait de retirer temporairement l'objet soumis à l'examen et d'enclencher le rayonnement X.
- Pour que les images de la caméra soient moins brouillées, elles sont réalisées à partir d'une moyenne. Dans les réglages de la caméra, la moyenne préréglée est de 20 trames vidéo par image visualisée. C'est ainsi que chaque prise de vue dure à peine une seconde. En cas d'utilisation du tube à rayons X Mo ou Ag, il est recommandé d'augmenter le nombre de trames prises en compte dans la moyenne parce que le tube génère un rayonnement X nettement moins important que le tube à rayons X W ou Au.
- Enclencher le rayonnement X avec ▶.
- Contrôler la luminosité et la netteté de l'image. Le diaphragme de l'objectif de la caméra doit être entièrement ouvert et l'objectif doit être parfaitement mis au point sur la couche lumineuse. La couche lumineuse est située derrière la surface en verre.
- Procéder à l'ajustage de l'image et au calibrage. Les paramètres réglés ici sont mémorisés et sont à nouveau disponibles au prochain lancement du logiciel. Si l'ajustage de l'image et le calibrage ont été effectués avec succès et que le montage expérimental n'a pas été modifié, il n'est alors pas nécessaire de renouveler les réglages.



Balayage TDM

- Suivant la qualité souhaitée et le temps prévu, choisir le nombre et la taille des projections ainsi que la taille des reconstructions. Les projections doivent toujours être un peu plus grandes que les reconstructions. Il est recommandé de commencer tout d'abord par moins d'angles et de plus petites reconstructions. C'est seulement après s'être assuré que la caméra est bien ajustée qu'il est possible d'augmenter les valeurs réglées. Le temps de mesure ainsi gagné est considérable.
- Lancer l'acquisition scanner. Le temps d'acquisition encore restant est affiché en haut à droite.

2D Vue en 2D

- S'il apparaît dans la vue en 2D des images fantômes survenues durant la deuxième moitié de la rotation effectuée, c'est que l'orientation de l'axe de rotation n'est pas parfaite. Les images fantômes peuvent être évitées avec une correction de l'axe de rotation dans tous les plans du volume reconstruit. Au cas où il s'avèrerait nécessaire de corriger l'axe de rotation, il faudra alors procéder à un nouveau balayage TDM avec l'ajustage ainsi modifié de la caméra.
- Si souhaité, le film des projections ainsi que les films des reconstructions peuvent être exportés après le balayage TDM.

3D Vue en 3D

- Dans la vue en 3D, il est possible de tourner et de zoomer le volume reconstruit avec la souris.
- Pour l'affichage des coordonnées et la mesure de la distance sur un plan de coupe en 2D, il est recommandé de ne représenter que le plan de coupe qui peut être modifié avec la grande barre à coulisse inférieure.
- Les coloris représentés sont le résultat du réglage de l'intensité, de la transparence et du dégradé.
- Les animations automatiques autour de l'axe de rotation ou avec la souris ne conviennent finalement pas pour la réalisation de films 3D.
- Pour une meilleure orientation, la délimitation du balayage TDM peut être évoquée par des arêtes de cube.
- Une meilleure impression spatiale s'obtient avec de la lumière. Les paramètres de lumière sont réglables.
- La représentation stéréoscopique permet une vraie représentation en 3D si on recourt à des lunettes rouge et cyan (par ex. 554 827).
- Pour une plus grande vue en 3D, il est possible d'élargir la représentation en la visualisant en plein écran.

Clichés de Laue avec le capteur pour radiographie

La réalisation de clichés de Laue ne requiert ni code d'activation ni PC puissant.

Préparatifs

- Installer le tube à rayons X W, Au, Mo ou Ag (tungstène, or, molybdène ou argent) dans l'appareil à rayons X. Le tube W ou Au fournit un meilleur contraste que le tube Mo ou Ag nettement plus faible.
- Installer le collimateur à trou (de 554 8381) et mettre le cristal en place.
- Pour des clichés de Laue bien nets, couvrir le milieu du capteur pour radiographie avec une pastille de blindage (de 554 8381).
- Positionner le capteur pour radiographie environ 1,5 cm devant le cristal. La radiographie est produite 2 mm derrière la surface en fibre de carbone.
- Connecter les appareils au PC et les mettre en marche. Laisser chauffer le capteur pour radiographie pendant environ 5 minutes.
- Lancer le logiciel Tomodensitométrie.

Réalisation de clichés de Laue

- Le capteur pour radiographie doit enregistrer des images sombres. Cela se reconnaît au clignotement du point rouge (●) dans les réglages de la caméra. Si tel n'est pas le cas, vérifier les connexions et l'appareil vidéo dans les réglages de la caméra.
- Régler le temps d'intégration sur 3500 ms dans les réglages de la caméra.
- Enregistrer l'image d'offset. Pour ce faire, calculer la moyenne d'environ 10 images avant de pouvoir à nouveau mettre fin à l'enregistrement de l'offset.
- Enclencher le rayonnement X avec ▶.
- Enregistrer l'image de référence. Pour ce faire, à nouveau calculer la moyenne d'environ 10 images. Pendant cet enregistrement de l'image de référence, le contraste peut déjà être réajusté avec le curseur de l'image de référence et le cliché de Laue peut être rendu visible.
- Si souhaité, mémoriser l'image originale ou l'image à contraste déjà accentué par afin de poursuivre le traitement. Du fait de la mémorisation avec une résolution élevée en niveaux de gris (16 bits), il est aussi possible de générer plus tard de beaux clichés de Laue à partir de l'image originale à l'aide d'un logiciel de traitement d'images approprié.



Index par mots-clés

